

称号及び氏名	博士（学術） 印 炳賤
学位授与の日付	平成 18 年 9 月 3 0 日
論文名	「バラ切り花の日持ち性予測に向けた環境要因の解析」
論文審査委員	主査 森 源治郎 副査 池田 英男 副査 村瀬治比古 副査 清田 信

## 論文要旨

バラ切り花においては、水分状態の悪化に起因する萎凋が、観賞価値を失って品質保持期間が終了する最も大きな理由となる。家庭消費を志向したバラ切り花の品質評価では、消費段階での日持ちが重視される傾向にあり、日持ちや品質保証販売のための出荷時点での日持ち性予測技術の開発が強く望まれている。

本研究では、まずロックウール栽培バラ切り花における品質保持期間と、それに関わる収穫前の栽培環境、収穫後の保持環境並びに切り花の形態的・生理的特性などの諸要因の相互関係を明らかにしたうえで、それらのパラメータから日持ち性を予測することが可能なモデルについて検討を行った。

### 第 1 章 バラ切り花の日持ち性に関わる要因の解析

#### 1. 日持ち性の季節変動

室内で切り花を利用する際の日持ちの季節的な変動が、収穫時点で潜在的に切り花が持っている能力（日持ち性）によって決定されているのかどうかを確認した。大阪府立大学農学部附属農場内にある温室でロックウールにより栽培した‘アサミレッド’の切り花を、2001 年 5 月～2002 年 10 月に合計 20 回収穫し、標準条件（気温 20℃，相対湿度 50%，光合成有効光量子束  $10 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ）および通常の室内条件下に 20 本ずつ保持して品質保持期

間を調べた。変動の幅は標準条件下（8～19.1日）よりも室内条件下（6.4～22.6日）に保持した切り花のほうが大きくなったものの、両者の品質保持期間には類似した季節変動の傾向がみられた。このことから、バラ切り花の品質保持期間は、保持中の環境に加えて栽培時の環境の影響をより強く受けるものと考えられた。

## 2. 収穫後の切り花保持環境と日持ち性

1, 3, 4, 12月に同一株から同程度の大きさの切り花を5～12ペア収穫し、標準条件と室内条件に分けて品質保持期間を比較した。その結果、両条件間では4回の比較のうち2回で有意な正の相関関係が、1回で有意ではないものの弱い正の相関関係がみられた。したがって、個体間でみた場合でも収穫時点での日持ち性は、温湿度など栽培環境条件や植物体の状態といった収穫前における要因に影響されていると考えられた。

## 3. 切り花保持中の環境要因と潜在的な日持ち性が品質保持期間に及ぼす影響

室内条件の環境要因〔保持開始後6日間の気温、相対湿度（RH）、飽差（VPD）、日長〕と標準条件下での品質保持期間を説明変数とし、室内条件下での品質保持期間を目的変数とする重回帰分析を行った。その結果、室内条件下での品質保持期間には、室内の気温と日長が負に、相対湿度が正に影響していることが示された。これに加え、標準条件下での品質保持期間の標準偏相関係数が正に大きかったことから、室内条件における切り花の品質保持期間には、収穫時の潜在的な日持ち性が大きく影響していることが確認された。

## 4. 栽培時の環境要因、切り花の形態的並びに生理的パラメータと日持ち性との相互関係

バラ切り花の潜在的な日持ち性（標準条件下で保持された場合の品質保持期間）、栽培時の環境パラメータ（収穫前15日間の気温、RH、VPD、日射量）、収穫時並びに収穫後品質評価期間中の種々の形態的・生理的パラメータの相互関係を主成分分析により解析した。その結果、栽培時の日最低湿度が高く、日最大 VPD の低い場合に品質保持期間が短くなることが示された。また、形態的・生理的パラメータのうち、収穫直後の暗黒条件下での蒸散速度など、蒸散の促進を示すものが、品質評価期間中の水分状態の悪化を示すパラメータに強く影響を及ぼし、同時に品質保持期間が短くなることが示された。さらに、栽培時の高湿度・低 VPD 条件による水ストレスの欠如が、気孔の大型化や収穫直後の暗条件下における蒸散速度の高まりをもたらし、結果として蒸散の盛んな切り花生産に繋がっていることが示された。

## 第2章 栽培時の環境制御による日持ち性の改善

### 1. 湿度制御が切り花の日持ち性に及ぼす影響

温度条件や日射条件を同じにして、高湿度（85%一定区）および低湿度（60%一定区）下で栽培した場合、85%一定区は60%一定区と比較して、気孔が大きく、蒸散が盛んとなり、同時に日持ち性が低下した。昼/夜の湿度を60/85%あるいは85/60%と変化させて栽培すると、両区とも低湿度（60%）一定区に類似した蒸散特性を示し、同等の日持ち性のある切り花が得られた。以上から、栽培時に1日あたり少なくとも12時間程度低湿度条件に置くことにより、気孔開閉機能を良好にし、日持ち性の優れた切り花が得られることが示された。

### 2. 栽培時の送風が切り花の日持ち性に及ぼす影響

葉にダクトを用いた送風処理を行って栽培したバラは、特に温室内が高湿度条件となる冬季において収量が増加した。さらに収穫後の蒸散量が低くなり、日持ち性が改善された。送風処理には葉面境界層を薄くする作用があり、二酸化炭素の取り込みを促進して収量を増加させると同時に、葉表面付近の局所的な低VPD環境の形成を回避し、高湿度環境に起因する日持ち性の低下を防止する効果があるものと推察された。

## 第3章 栽培環境並びに形態・生理的パラメータからの日持ち性の予測

### 1. 葉温の非破壊測定による蒸散量の評価

サーモグラフィ（熱画像解析）装置によって測定したバラ葉温とレファレンス板の温度との差（ $y$ ）と蒸散速度（ $x$ ）との間には、高度に有意な二次回帰式（ $y = -0.0447x^2 + 0.553x + 0.0151$ ,  $R^2 = 0.86$ ）が得られた。本法により、日持ち性に大きく関係するパラメータである蒸散速度を非接触で瞬時測定することが可能であることが示された。

### 2. 重回帰モデルによる日持ち性の予測

バラ切り花の日持ち性を予測するため、重回帰モデル適用の可能性を検討した。切り花104本について、栽培時の環境パラメータおよび収穫時の形態・生理的パラメータを説明変数、標準条件下における品質保持日数を目的変数とした重回帰分析を行った結果、暗条件下蒸散速度、暗条件下水ポテンシャル、花茎下/上直径比、日最低相対湿度、日平均相対湿度、日最高飽差、日最低飽差、気孔長径、日最高相対湿度、補光を説明変数に選択した決定係数（ $R^2$ ）0.6033の重回帰式が得られた。さらに回帰式作成に用いなかった30本のデータをこの重回帰モデルの検証を行ったところ、予測値と実測値の間の直線回帰は

$R^2=0.5253$  であり、低い予測精度しか得られなかった。

### 3. ニューラルネットワークモデルによる日持ち性の予測

人工ニューラルネットワーク (NNW) による日持ち性の予測を試みた。中間層ユニット数 26, 入力層 29, 出力層 1 のネットワークを構築し、上記切り花のデータ 153 本分の内、123 本分のデータを用いて 3750 回の学習を行った。次に、このネットワークに未学習の残り 30 本の品質保持期間を予測させた結果、予測値と実測値間の回帰は $R^2=0.886$ 、95% 予測区間が $\pm 2.5$  日と比較的高い予測精度が得られた。続いて、栽培環境パラメータおよび市場段階まで計測が可能と考えられる形態・生理的パラメータ (収穫時の新鮮重, 茎長, 花茎上・下部直径, 花茎下/上直径比, 葉面積, 暗条件下蒸散速度, Brix値) を選んでネットワークの学習を行わせたところ、30 本の未学習データにおける品質保持期間の予測値と実測値間の回帰は $R^2=0.774$ 、95% 予測区間が $\pm 2.4$  日となった。

‘アサミレッド’ の 123 本分のデータに別の 2 品種 (‘ブライダルピンク’ 30 本および ‘ソニア’ 30 本) のデータを加えて学習させたところ、未学習データ (3 品種合計 46 本) 予測値と実測値間回帰における予測精度 ( $R^2=0.811$ ) は依然高く、また品種ごとにみた予測精度は、各品種単独で NNW を行った場合と比較しても高かった。

### 総括

本研究では、まず実際の消費 (観賞) 場面で示されるバラ切り花の品質保持期間は、収穫前に決定されている潜在的な日持ち性と、収穫後の切り花の取り扱い、特に切り花が保持される環境要因の 2 つによって左右されることを示した。続いて、潜在的な日持ち性が栽培時の環境、特に相対湿度条件により決定されること、それが切り花の蒸散制御能力の低下による水分状態の悪化と関連していることを明らかにした。さらに湿度の制御、あるいは送風処理による栽培環境の改善により、蒸散量が低く日持ち性の高い切り花が得られることを示した。最後に、切り花の栽培環境並びに収穫時に得られる形態的・生理的パラメータから、日持ち性の予測ができないかを、重回帰並びに NNW を用いて検討した。今回バラ切り花の日持ち性予測に初めて適用した NNW は、重回帰モデルと比較して高い予測精度が得られ、かつ品種が異なる場合でも、モデルの適用拡大が可能であるという優れた特徴が示され、これを用いたバラ切り花の日持ち性検査と日持ち保証の可能性が見い出された。

## 審査結果の要旨

バラ切り花は、満開になる前に水分状態の悪化に起因する萎凋が起こり、観賞価値を失ってしまうことが多い。家庭消費を対象にしたバラ切り花の品質評価では、消費段階での日持ちが重視される傾向にあり、日持ちや品質保証販売のための出荷時点での日持ち性予測技術の開発が望まれている。

本研究は、ロックウール栽培バラを対象に、切り花における収穫前の栽培環境、収穫後の保持環境並びに形態的・生理的特性などの諸要因と切り花の品質保持期間との相互関係を明らかにしたうえで、それらのパラメータを用いた日持ち性予測の可能性を示したものである。

第1章では、バラ切り花の日持ち性に関する要因の解析を行った。まず、室内で切り花を利用する際の品質保持期間は、保持中の環境に加えて栽培時の環境の影響を強く受けること、室内条件下での品質保持期間には、室内の気温と日長が負に、相対湿度が正に影響していることを明らかにした。次に、栽培時の環境要因、切り花の形態的並びに生理的パラメータと日持ち性との相互関係について検討した。栽培時の日最低湿度が高いと収穫直後の暗黒条件下での蒸散が促され、品質評価期間中の水分状態が悪化して品質保持期間が短くなることを明らかにした。栽培時の高湿度・低飽差条件は、気孔の大型化や収穫直後の暗条件下における蒸散速度の高まりをもたらし、結果として日持ち性の悪い切り花生産に繋がっていることを示唆した。

第2章では、栽培時の環境制御による日持ち性の改善法について検討した。まず、温度条件や日射条件を同じにして湿度を変えて栽培すると、高湿度（85%）下では低湿度（60%）下に比べて気孔が大きく蒸散が盛んになって日持ち性が低下すること、昼/夜の湿度を60/85%あるいは85/60%と変化させて栽培すると両区とも低湿度（60%）に類似した蒸散特性を示し、日持ち性の優れた切り花が得られることを見出した。次に、切り花の日持ち性に対する栽培時の送風効果について検討した。ダクトを用いて葉に送風処理を行って栽培した切り花は、収穫後の蒸散量が少なくなり、日持ち性が改善されることを確認した。送風処理には葉面境界層を薄くする作用があり、二酸化炭素の取り込みを促進するとともに、葉表面付近の局所的な低飽差環境の形成を回避し、高湿度環境に起因する日持ち性の低下を防止する効果があることを示唆した。

第3章では、切り花の栽培環境並びに収穫時に得られる形態的・生理的パラメータから、日持ち性を予測することを目的として重回帰並びにニューラルネットワーク (NNW) モデルを用いて検討した。NNW モデルは、重回帰モデルと比較して高い予測精度が得られ、かつ品種が異なる場合でも、モデルの適用拡大が可能であるという優れた特徴が示され、これを用いたバラ切り花の日持ち性検査と日持ち保証の可能性を見出した。

以上のように、本研究では、実際の消費（観賞）場面で示されるバラ切り花の品質保持期間は収穫前の栽培環境によって決定されている潜在的な日持ち性に左右されること、栽培時に送風処理を行うことによって栽培室内の相対湿度を低下させて日持ち性が高められることを明らかにした。また、切り花の栽培環境並びに収穫時に得られる形態的・生理的パラメータをもとに NNW モデルを用いてバラ切り花の日持ち性検査と日持ち保証が可能であることを示した。本研究で得られた知見は、花き園芸学および生物環境調節学領域の発展に大きく貢献するとともに、切り花の日持ち保証という新しい概念を実現するうえでの技術開発に寄与するものであり、最終試験の結果と併せて、博士（学術）の学位を授与することを適当と認める。